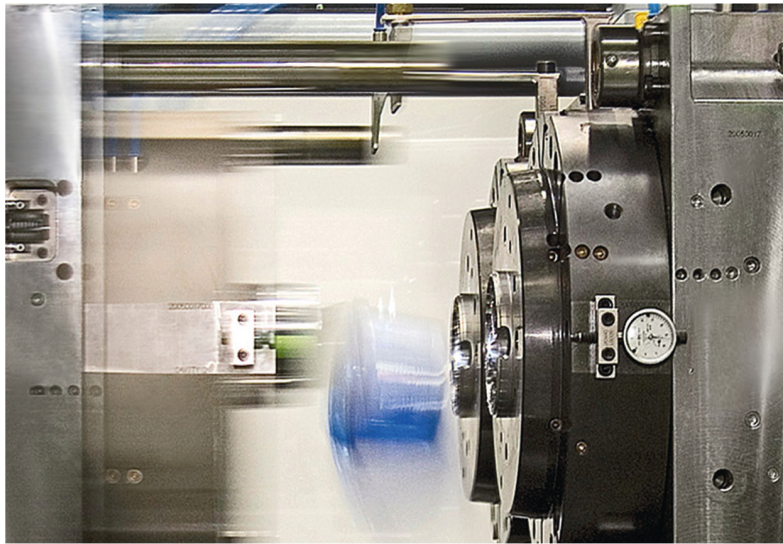


Christian Hopmann
Walter Michaeli
Helmut Greif
Frank Ehrig

Technologie des Spritzgießens

Lern- und Arbeitsbuch



4., neu bearbeitete Auflage

HANSER



bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

Exklusiv: Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!

Informativ: News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

Kunststoffe.de

Christian Hopmann
Walter Michaeli
Helmut Greif
Frank Ehrig

Technologie des Spritzgießens

Lern- und Arbeitsbuch

4., aktualisierte Auflage

HANSER

Die Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann, Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), Aachen

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Walter Michaeli, ehemals Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), Aachen

Dr. (phil.) Dipl.-Ing. Helmut M. Greif M. A., AGIT GmbH, Aachen

Prof. Dr.-Ing. Frank Ehrig, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Rapperswil

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2017 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Herstellung: Jörg Strohbach

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Satz, Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-45042-4

E-Book-ISBN: 978-3-446-45296-1

Inhalt

Vorwort zur 4. Auflage	IX
Die Autoren	XI
Arbeiten mit dem Lernbuch „Technologie des Spritzgießens“	XIII
Abkürzungen und Kurzzeichen	XV
Spritzgießen – ein ideales Fertigungsverfahren	XVII
Spritzgießen – ein industrielles Fertigungsverfahren	XVII
Spritzgießen – ein diskontinuierlicher Einstufenprozess	XVIII
Spritzgießen – Spritzgießmaschine und Spritzgießwerkzeug	XIX
1 Grundlagen der Kunststoffe	1
1.1 Einteilung und Bezeichnung der Kunststoffe	1
1.2 Formänderungsverhalten von Kunststoffen	4
1.3 Formmasse und Formgebungsverfahren	6
1.4 Kunststoffschmelze	8
1.4.1 Viskosität	8
1.4.2 Schubspannung und Schergeschwindigkeit	8
1.4.3 Viskosität und Temperatur	9
1.5 Erfolgskontrolle zur Lektion 1	13
2 Spritzgießmaschine	15
2.1 Einteilung von Spritzgießmaschinen	15
2.2 Baugruppen von Spritzgießmaschinen	19
2.3 Erfolgskontrolle zur Lektion 2	21

3	Plastifizier- und Spritzeinheit	23
3.1	Aufgaben der Plastifizier- und Spritzeinheit	23
3.1.1	Aufschmelzen	24
3.1.2	Homogenisieren	25
3.1.3	Aufbau der Plastifizier- und Spritzeinheit	26
3.2	Plastifizieren	27
3.3	Einspritzen	29
3.4	Erfolgskontrolle zur Lektion 3	31
4	Werkzeug	33
4.1	Aufgaben und Funktionsbereiche	34
4.2	Anguss- und Verteilersystem	34
4.2.1	Grundlagen	34
4.2.2	Art des Angusses	35
4.3	Formnest	38
4.4	Temperierung	40
4.5	Auswerfersystem	42
4.6	Erfolgskontrolle zur Lektion 4	45
5	Schließeinheit	47
5.1	Funktion und Aufbau	47
5.2	Mechanische Schließeinheiten	49
5.3	Hydraulische Schließeinheiten	51
5.4	Sonderausführungen von Schließeinheiten	52
5.4.1	Holmlose Schließeinheit	53
5.4.2	2-Platten-Schließeinheit	53
5.5	Erfolgskontrolle zur Lektion 5	54
6	Antriebssystem und Steuerung	55
6.1	Antriebssystem	55
6.1.1	Hydraulischer Antrieb	56
6.1.2	Elektrischer Antrieb	58
6.2	Steuerung	59
6.3	Erfolgskontrolle zur Lektion 6	60
7	Spritzgießprozess	61
7.1	Phasen eines Spritzgießzyklus	62
7.2	Start	64
7.2.1	Werkzeug und Schließeinheit	64
7.2.2	Plastifiziereinheit	64
7.2.3	Steuerung	64
7.2.4	Hydraulik und Elektrik	65

7.3	Einspritzphase	65
7.3.1	Werkzeug und Schließeinheit	65
7.3.2	Plastifiziereinheit	66
7.3.3	Steuerung	66
7.3.4	Hydraulik	66
7.4	Nachdruckphase	68
7.4.1	Werkzeug und Schließeinheit	70
7.4.2	Plastifiziereinheit	70
7.4.3	Steuerung	70
7.4.4	Hydraulik	70
7.5	Kühlphase	71
7.5.1	Kühlzeitgleichung	72
7.5.2	Werkzeug und Schließeinheit	72
7.5.3	Plastifiziereinheit	72
7.5.4	Steuerung und Hydraulik	73
7.6	Dosierphase	73
7.6.1	Werkzeug und Schließeinheit	74
7.6.2	Plastifiziereinheit	74
7.7	Entformen	74
7.7.1	Werkzeug und Schließeinheit	75
7.7.2	Plastifiziereinheit	76
7.7.3	Hydraulik und Steuerung	76
7.8	Erfolgskontrolle zur Lektion 7	77
8	Werkzeugkonstruktion	79
8.1	Spritzgießwerkzeug - Aufgaben und Anforderungen	80
8.2	Aufgaben des Konstrukteurs	81
8.3	Werkzeugauslegung	82
8.3.1	Übersicht	82
8.3.2	Rheologische Werkzeugauslegung	82
8.3.3	Thermische Werkzeugauslegung	85
8.3.4	Mechanische Werkzeugauslegung	87
8.4	Erfolgskontrolle zur Lektion 8	90
9	Qualitätsmanagement und integrierte Managementsysteme beim Spritzgießen	91
9.1	Qualität	91
9.2	Qualitätsmanagement	93
9.3	Qualitätswesen und Qualitätssicherung	94
9.3.1	Qualitätswesen	94
9.3.2	Begriffe der Qualitätssicherung	95
9.4	Integrierte Managementsysteme	99
9.5	Erfolgskontrolle zur Lektion 9	100

10	Recycling im Spritzgießbetrieb	101
10.1	Wiederverwertung von Kunststoffen	101
10.2	Recycling von Produktionsabfällen	105
10.3	Recycling von Kunststoffabfällen aus Handel und Haushalten	106
10.4	Erfolgskontrolle zur Lektion 10	108
11	Sonderverfahren des Spritzgießens	109
11.1	Thermoplastschaumspritzgießen (TSG)	110
11.2	Mehrkomponenten-Spritzgießverfahren	111
11.3	Spritzprägen	115
11.4	Kaskadenspritzgießen	116
11.5	Hinterspritztechnik	117
11.6	Erfolgskontrolle zur Lektion 11	117
12	Das Spritzgießunternehmen und seine Berufsmöglichkeiten	119
12.1	Das Spritzgießunternehmen	119
12.1.1	Aufbau eines Spritzgießunternehmens	119
12.1.2	Ablauforganisation in einem Spritzgießbetrieb	121
12.1.3	Anforderungen an ein Spritzgießunternehmen	122
12.2	Berufe in der Kunststoffverarbeitenden Industrie (KVI)	123
12.2.1	Ausbildungsdauer und Ausbildungsinhalte	124
12.2.2	Weiterbildung und Aufstiegsmöglichkeiten	126
12.2.3	Berufslage und Zukunftsperspektive	126
12.3	Arbeitsschutz Spritzgießmaschinen	127
12.3.1	Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit und normative Regelungen	127
12.3.2	Gefährdungen und wesentliche Gefahrenbereiche	128
12.3.3	Unfallverhütungsvorschrift für Spritzgießmaschinen	129
13	Glossar	131
14	Ausgewählte Literatur	143
15	Antworten zu den Erfolgskontrollen	145
	Index	149

Vorwort zur 4. Auflage

Dieses Buch hat vorzügliche Resonanz bei seinen Lesern gefunden. Ihnen allen sei hierfür herzlich gedankt. Gedankt sei auch für die Anregungen zur weiteren Verbesserung dieses Buches, welche gerne aufgegriffen und in diese überarbeitete Auflage eingearbeitet wurden. Seit dem Erscheinen der letzten Auflage im Jahre 2009 haben sich einige neue und innovative Spritzgießsondervverfahren, wie die Projektilinjektionstechnik, in der Praxis durchsetzen können, sodass über diese nun als „Stand der Technik“ berichtet werden kann und sie daher auch zu Recht Aufnahme in dieses Buch für den Praktiker gefunden haben.

Herzlich bedanke ich mich bei meinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und besonders bei Herrn Dipl.-Ing. Leo Wolters, Leiter der Abteilung Ausbildung/Handwerk, am IKV sowie bei Frau Ulrike Wittmann vom Carl Hanser Verlag für ihre tatkräftige Hilfe bei der Überarbeitung dieses Buches.

Dem Carl Hanser Verlag sei gedankt für die stets vorzügliche Kooperation bei diesem und vielen weiteren gemeinsamen Projekten.

Christian Hopmann, Februar 2017

Die Autoren

Univ.-Prof. Christian Hopmann

Seit April 2011 ist Prof. Christian Hopmann Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen. Er studierte Maschinenbau mit der Vertiefungsrichtung Kunststofftechnik an der RWTH Aachen und promovierte 2000 bei Prof. Walter Michaeli. 2005 wechselte Hopmann in die Industrie und trat bei der RKW AG Rheinische Kunststoffwerke (heute: RKW SE) ein. Von Januar 2010 bis zu seinem Wechsel an das IKV war er Managing Director der RKW Sweden AB in Helsingborg/Schweden. 2014 wurde er für die Entwicklung der Spaltimprägnier-technologie für faserverstärkte Kunststoffe mit dem NRW-Innovationspreis ausgezeichnet.

Prof. Walter Michaeli

Prof. Walter Michaeli verabschiedete sich 2011 nach 23 überaus erfolgreichen Jahren als Institutsleiter am IKV und nach Erreichen der Altersgrenze in den Ruhestand. Michaeli studierte Fertigungstechnik an der RWTH Aachen, nach über acht Jahren Industrietätigkeit übernahm er 1988 als Direktor die Leitung des IKV. Er war Mitglied in mehreren bedeutenden wissenschaftlichen Akademien und in der Jury des Deutschen Zukunftspreises. Für seine Entwicklung einer innovativen Wasserinjektionstechnik beim Spritzgießen von Kunststoffen erhielt Prof. Michaeli im Jahr 2002 den Otto von Guericke-Preis der AiF.

Dr. Helmut Greif

Dr. Greif arbeitete nach seinem Studium des Maschinenbaus sowie der Soziologie/Politologie/Erziehungswissenschaft in Aachen als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Aachen, u. a. als pädagogischer Leiter des Demonstrationszentrums für Faserverbundkunststoffe. Seine Themen waren Technikentwicklung und Qualifikationsentwicklung sowie Arbeitsorganisation und Berufsbildung. Nach vielen Stationen in der Industrie und Wirtschaft als Fabrikplaner und Unternehmensberater (SMART-Fabrik), als Leiter der Dr. Reinold Hagen Stiftung, die ein Bildungs- und Kunststoffzentrum in Bonn betreibt, war er Leiter des HPI (Heinz-Piest-Institut) an der Universität Hannover. Zuletzt bis zu seinem Abschied Mitte 2016 war er Geschäftsführer der Aachener Gesellschaft für Innovation und Technologietransfer (AGIT). Er war Mitglied in vielen Juries zur Innovation und Berufsbildung.

Prof. Frank Ehrig

Seit April 2005 ist Prof. Frank Ehrig Leiter des IWK Instituts für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Rapperswil, Schweiz. Er studierte Maschinenbau mit der Vertiefungsrichtung Kunststofftechnik an der RWTH Aachen und promovierte 1998 am IKV bei Prof. Edmund Haberstroh. Anschließend wurde er zum Abteilungsleiter Spritzgießen/Polyurethantechnik am IKV berufen. 2000 wechselte Ehrig in die Industrie und trat in die Weidmann Plastics Technology AG, Rapperswil, ein. Bis zu seinem Wechsel an die HSR war er dort Leiter Technische Entwicklung für den Bereich Automotive.

Arbeiten mit dem Lernbuch „Technologie des Spritzgießens“

Einführung

Das Spritzgießen ist das bedeutendste Verfahren zur Herstellung von Kunststoffbauteilen. Das vorliegende Lernbuch und Arbeitsbuch führt in dieses Verarbeitungsverfahren ein.

Lektionen

Das Lernbuch „Technologie des Spritzgießens“ ist in Lerneinheiten unterteilt, die als Lektionen bezeichnet werden. Jede Lektion umfasst einen geschlossenen Themenkreis. Die einzelnen Lektionen sind so angelegt, dass sie vom Lernenden in einer Lernsequenz, also in einem Lernschritt, bearbeitet werden können.

Leitfragen

Die Leitfragen zu Beginn einer jeden Lektion sollen dem Lernenden helfen, mit bestimmten Fragen an den Lernstoff heranzugehen. Nachdem er die Lektion durchgearbeitet hat, soll er diese Leitfragen beantworten können.

Vorwissen

Die Lektionen müssen nicht in einer bestimmten Reihenfolge bearbeitet werden. Jede Lektion ist deshalb mit einer Auflistung versehen, aus der hervorgeht, welche anderen Lektionen oder Inhalte zum Verstehen der vorliegenden Lektion wichtig sind.

Erfolgskontrollen

Die Erfolgskontrollen am Ende einer jeden Lektion dienen dazu, das erarbeitete Wissen zu überprüfen. Von der vorgegebenen Antwortauswahl ist die richtige Antwort auszuwählen und in den im Text vorgesehenen unterstrichenen Freiraum (_____) einzutragen. Die Richtigkeit der Antworten kann mithilfe der Lösungen, die am Ende des Buches zu finden sind, überprüft werden. Falls die ausgewählte Antwort falsch ist, sollte der entsprechende Sachverhalt ein weiteres Mal durchgearbeitet werden.

Beispiel: „Optische Datenträger“ (CD, CD-ROM, DVD, Blue-Ray-Disk)

Um die Ausführungen in diesem Buch anschaulicher zu gestalten und den gedanklichen Zusammenhang zwischen den Lektionen zu verdeutlichen, wurde als Beispiel ein bekanntes Produkt gewählt, dessen Herstellung aus Kunststoff einerseits besondere Anforderungen an die Spritzgießtechnik stellt, andererseits aber überhaupt erst die weite Verbreitung dieses Formteils ermöglicht. Der optische Datenträger ist damit ein typisches, hochwertiges Produkt aus Kunststoff. Er findet sich in vielen Lektionen wieder. Es werden Fragen geklärt, wie beispielsweise der richtige Kunststoff für ein Formteil ausgewählt wird oder welche Möglichkeiten der Wiederverwertung (Recycling) von Kunststoffteilen bestehen.

Anhang

Der Anhang liefert für den interessierten Leser ergänzendes Material zu den Kunststoffen. Anhand der ausgewählten Literaturliste kann er sich über weiterführende Fachliteratur informieren. Das Glossar soll zu einem einheitlichen Verständnis der verwendeten Begriffe beitragen, es kann auch als eine Art Kurz-Lexikon verwendet werden. Die Informationen zum Berufsbild des Verfahrensmechanikers Kunststoff und Kautschuk bieten die Möglichkeit, sich genauer über die Aufgaben dieses industriellen Kunststoffberufes, insbesondere der Fachrichtung Spritzgießen, zu informieren. Hier werden auch die Weiterbildungsmöglichkeiten und Aufstiegschancen in diesem Berufsbereich angesprochen.

Abkürzungen und Kurzzeichen

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol (amorphes Copolymer)
BG	Berufsgenossenschaft
BR	Polybutadien (Allzweckkautschuk; Butadien-Rubber)
CAD	Computer Aided Design (rechnerunterstütztes Konstruieren)
CAE	Computer Aided Engineering (rechnerunterstütztes Entwickeln)
CAM	Computer Aided Manufacturing (rechnergestützte Fertigung)
CAQ	Computer Aided Quality (rechnerunterstützte Qualität)
CFK	kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (Verbundwerkstoff aus Kohlenstofffasern (CF) mit einer polymeren Matrix)
CIM	Computer Integrated Manufacturing (rechnerintegrierte Fertigung)
CNC	Computerized Numerical Control (rechnerkontrollierte Maschinensteuerung)
CR	Polychloropren (Spezialkautschuk).
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität
DIN	Deutsche Norm
DIN EN	Deutsche Fassung der für ganz Europa gültigen Norm
DIN EN ISO	International Standard Organisation (weltweitgültige Norm)
DV	Datenverarbeitung (früher gebräuchlich: EDV = Elektronische Datenverarbeitung)
EG	Europäische Gemeinschaft (siehe auch EU)
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymere (Synthesekautschuk der „Methylen“-Reihe)
EU	Europäische Union (siehe auch EG)
FFS	Flexible Fertigungssysteme (mehrere Flexible Fertigungszellen (FFZ))
FFZ	Flexible Fertigungszelle (Grundeinheit einer flexiblen Fertigung)
GFK	glasfaserverstärkte Kunststoffe (Verbundwerkstoffe aus Glasfasern (GF) und einer polymeren Matrix)
GIT	Gasinjektionstechnik
GG	Grundgesetz
JIS	Just In Sequence

JIT	Just In Time
PA	Polyamid (teilkristalliner Thermoplast)
PBT	Polybutylenterephthalat (teilkristalliner Thermoplast)
PC	Polycarbonat (amorpher Thermoplast)
PE	Polyethylen (teilkristalliner Thermoplast)
PEEK	Polyetheretherketon (teilkristalliner Thermoplast, hochtemperaturbeständig)
PES	Polyethersulfon (amorpher Thermoplast)
PET	Polyethylenterephthalat (teilkristalliner Thermoplast)
PIT	Projektil-Injektionstechnik
POM	Polyoxymethylen (teilkristalliner Thermoplast), auch Polyacetal genannt
PP	Polypropylen (teilkristalliner Thermoplast)
PS	Polystyrol (amorpher Thermoplast)
PUR	Polyurethan (je nach chemischer Reaktion der Ausgangskomponenten: amorpher Thermoplast/Elastomer/Duroplast)
PVC	Polyvinylchlorid (amorpher Thermoplast)
QS	Qualitätssicherung
QM	Qualitätsmanagement
QMS	Qualitätsmanagementsystem
SBR	Styrol-Butadien-Kautschuk (Allzweckkautschuk)
SG	Spritzgießen
SPC	Statistical Process Control
TSG	Thermoplastschaumspritzgießen
UMS	Umweltmanagementsystem
UVV	Unfallverhütungsvorschriften (siehe auch VBG)
VBG	Verordnung der Berufsgenossenschaft (siehe auch UVV)
VDA	Verband der deutschen Automobilindustrie
WIT	Wasserinjektionstechnik
WZM	Werkzeugmaschine

Spritzgießen – ein ideales Fertigungsverfahren



Leitfragen

Was ist Spritzgießen?

Wozu wird Spritzgießen eingesetzt?

Was sind die Hauptmerkmale einer Spritzgießmaschineneinheit?

Inhalt

Spritzgießen – ein industrielles Fertigungsverfahren

Spritzgießen – ein diskontinuierlicher Einstufenprozess

Spritzgießen – Spritzgießmaschine und Spritzgießwerkzeug

■ Spritzgießen – ein industrielles Fertigungsverfahren

Innerhalb der Kunststoffverarbeitungstechnologien ist das Spritzgießen das bedeutendste Fertigungsverfahren. Durch die digitale Vernetzung aller Produktionsprozesse wird dieses Fertigungsverfahren nicht nur für die Serienfertigung eingesetzt.

bedeutendstes Verarbeitungsverfahren für Kunststoffe

Die ersten Spritzgießmaschinen waren Kolbenmaschinen. Der Kunststoff wurde in einem beheizten Zylinder erwärmt und mittels eines Kolbens in die Form eingespritzt. Dieser Maschinentyp findet sich heute nahezu nicht mehr und wird daher in diesem Buch nicht behandelt.

Kolbenmaschinen

Moderne Spritzgießmaschinen arbeiten meist nach dem Schneckenprinzip. In einem Zylinder wird die Formmasse mittels Heizbänder und Reibungswärme, die durch die rotierende Schnecke erzeugt wird, aufgeschmolzen. Beim Einspritzvorgang wird die Schneckenrotation gestoppt und die Schnecke wirkt als Kolben. Die Schnecke hat also

Schneckenprinzip